BM 23

NEUROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG AM NERVUS ULNARIS IM "DOPPELTEN BLINDVERSUCH"

Bruno J. BUSCHNER

1981

Dissertations- und Fotodruck ANNELIESE SCHUBERT
Corneliusstraße 21 · 8000 München 5 · Telefon 26 81 77

Aus der Neurologischen Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. A. Schrader

Neurographische Untersuchung am Nervus ulnaris im "doppelten Blindversuch"

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Bruno J. Buschner
aus
München

Jahr
1981

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. A. Schrader

Mitberichterstatter: OA. Dr. A. Ross

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 25.6.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Material und Methode	5
III.	Ergebnisse	9
IV.	Diskussion	14
V.	Zusammenfassung	22
VI.	Literatur	23
VII.	Anhang	28

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545801_0051

I. Einleitung

Seit der grundlegenden Arbeit von Hodes, Larrabee und German (1948) hat sich die Elektroneurographie zu einem Verfahren entwickelt, das alle Voraussetzungen einer klinisch verwertbaren Methode besitzt: Mit verhältnismäßig geringen technischen und zeitlichen Aufwand und bei geringer Belastung für den Patienten, kann der Untersucher schnell zu verwertbaren Ergebnissen kommen (11).

Bereits vor mehr als 100 Jahren schlugen v.Helmholtz und Baxt (1867 und 1870) eine Methode vor, die die Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit auf indirektem Weg ermöglichte, da sich elektroneurographische Untersuchungen an peripheren Nerven selbst, wie Eichler sie 1937 beschrieb, äußerst schwierig gestalten (6, 8, 9). Dabei wurde der Nerv an zwei möglichst entfernt liegenden Punkten gereizt und die Reizantwort durch mechanische Aufzeichnung der Muskelkontraktion registriert, wobei sie zur Reizung die günstige Lage der langen Arm- und Beinnerven nützten, die in ihrem Verlauf teilweise bis knapp unter die Hautoberfläche treten. Aus der Differenz der Leitzeiten und dem Abstand der beiden Reizpunkte errechneten sie die Nervenleitgeschwindigkeit. Obwohl diese Methode bis heute beibehalten wurde, konnte das Verfahren erst durch die oszillographische Aufzeichnung der Muskelantwort, wie sie in der oben erwähnten Arbeit von Hodes, Larrabee und German beschrieben wurde, zur routinediagnostischen Untersuchung verwertet werden (11). Diese Methode gewann klinisches Interesse, als Harvey und Mashland 1941 die elektromyographische Ableitung nach Nervenreizung als diagnostisches Hilfsmittel zur Prüfung der neuro-

muskulären Übertragung einführten (7), während Hodes die Methode zur Diagnostik peripherer Nervenschädigungen und zur Verlaufskontrolle der Nervenregeneration nach Durchtrennung beschrieb. Als Orientierungspunkte zur Bestimmung der Latenzzeit wählten sie einerseits den Reizartefakt und andererseits den Beginn des Muskelaktionspotentials, d.h. den Punkt auf dem Bildschirm des Oszillographen, wo sich der Kathodenstrahl von der Grundlinie abhebt. Dieses Intervall stellt die Leitzeit der dicksten und somit auch schnellstleitenden motorischen Nervenfasern dar, einschließlich der Leitzeit im markscheidlosen terminalen Abschnitt, der Verzögerung bei der neuromuskulären Übertragung und einer weiteren Verzögerung im Muskel selbst 25, 26; Thomas 1960). Bei supramaximaler Reizung ergeben die Differenzen der Latenzzeiten die Leitzeit der schnellstleitenden Fasern zwischen beiden Reizpunkten. Dieses Verfahren wurde im Prinzip von allen späteren Untersuchern übernommen. Da in unserem Falle die Nervenleitgeschwindigkeit unter Verwendung einer Nadelelektrode gemessen wurde, hat man den zusätzlichen Vorteil, im gleichen Untersuchungsgang einen Überblick über die elektrischen Verhältnisse im ruhenden und willkürlich innervierten Muskel gewinnen zu können (Thomas, Sears und Giliatt 1959; Poloni und Sala 1962; Dobbelstein, Struppler 1963; Visser 1964; 22, 26, 29).

Die Ergebnisse früherer Autoren, die die Nervenleitgeschwindigkeit am n. ulnaris bei gesunden Versuchspersonen untersuchten, zeigten hinsichtlich der Mittelwerte ein recht einheitliches Bild (Tabelle 2). Aus dieser Tabelle ist aber auch eine große Schwankungsbreite der Einzelergebnisse (bis 33 m/sec) zu ersehen. Durch diese Streubreite wird natürlich die

Abgrenzung der pathologischen Werte von Normalwerten in Grenzfällen äußerst schwierig. Man versuchte daher Parameter zu finden, die die motorische Nervenleitgeschwindigkeit bzw. die Registrierung der Muskelantwort genauer erfassen, um den großen Schwankungsbereich einengen zu können.

Wagman und Lesse wiesen 1952 eine Altersabhängigkeit der Nervenleitgeschwindigkeit nach (Tabelle 3). Ergänzende Arbeiten lieferten Wagman (1954), Cerra und Johnson (1962), Mulder und Mitarbeiter (1962) (20, 27, 28).
Die Temperatur des den Nerven umgebenden Gewebes hat auch, wie dies vom Kaltblütler her bekannt ist, einen gewissen Einfluß (Buddenbrock 1953; 1). Wagman und Lesse errechneten eine Verzögerung von 7 m/sec bei einer Abkühlung um 3°C. Henriksen (1956) und Corbat (1961) kamen zu ähnlichen Ergebnissen beim n. ulnaris (4, 10, 28).
In dieser Studie fand Corbat auch ein unterschiedliches Tagesprofil der Nervenleitgeschwindigkeit mit Differenzen zwischen 8 und 18 m/sec.
Simpson (1956) und Carpendale (1956) diskutierten ein Mißverhältnis zwischen tatsächlichem und oberflächlich bestimmten Nervenverlauf (2, 24).
Nicht zuletzt wird von mehreren Autoren (Hopf 1963; Kaeser 1970; Neundörfer, Adler 1972) die Verwendung von Nadelelektroden als Quelle für die große Streubreite angegeben, da von diesen Elektroden nur ein sehr kleiner Bereich abgegriffen wird und somit die Möglichkeit besteht, daß die Nadelspitze gerade das Potential einer langsam leitenden Faser aufzeichnet (12, 13, 15, 21).

Trotz Berücksichtigung von Altersfaktoren, Tageszeit und Temperatur waren die Streubreiten späterer Untersucher immer noch sehr erheblich. Es war daher von Interesse, die Nervenleitgeschwindigkeit unter den Bedingungen der klinischen Routinemyographie einer erneuten Überprüfung zu unterziehen, wobei besonders darauf geachtet wurde, ob sich signifikante Änderungen der Leitgeschwindigkeit beim individuellen Vergleich an zwei verschiedenen Tagen ergaben. Es war dabei vorausgesetzt, daß vor dem Wiederholungsversuch die Ergebnisse der Erstuntersuchung weder vorlagen noch den Versuchspersonen und dem Untersucher bekannt waren.

II. Material und Methode

Die Untersuchungen wurden an 9 weiblichen und 11 männlichen, klinisch gesunden Versuchspersonen im Alter zwischen 17 und 60 Jahren vorgenommen, bei denen anamnestisch keine Stoffwechselkrankheiten und keine chronische Einnahme von Medikamenten erwiesen war. Das Durchschnittsalter betrug 28,9 Jahre und nur 4 Personen waren älter als 40 Jahre.
Die Leitgeschwindigkeit wurde, wie von Magladery und Mc Dougal 1950 beschrieben, bestimmt: "Der Nerv wird an zwei möglichst weit auseinanderliegenden Orten gereizt und das jeder Reizung zugehörige Muskelaktionspotential aufgezeichnet. Aus der Differenz der Überleitungszeiten und der Strecke zwischen beiden Reizorten errechnet sich die Leitgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde. Die Überleitungszeit wird vom Reizeinbruch bis zum Beginn des Muskelaktionspotentials gemessen, welche als verläßlichste Bezugspunkte gelten können" (17).
Der n. ulnaris tritt in seinem Verlauf abschnittweise dicht unter die Haut, so daß er perkutaner elektrischer Reizung zugänglich ist. Als günstigste Reizorte, die auch die oben erwähnte Forderung mit größtmöglicher Entfernung erfüllen, bieten sich beim n. ulnaris die Handwurzel neben der Sehne des m. flexor carpi ulnaris und sein Knochenkanal am epicondylus humeri ulnaris an. In unserem Fall wurde distal wie proximal des Knochenkanals am epicondylus humeri ulnaris gereizt. Die Reizelektroden wurden vor jeder Stimulation mit einer Salzpaste präpariert, so daß es keine Schwierigkeit war, in jedem Falle eine supramaximale Erregung zu erreichen. Es konnte daher darauf verzichtet werden, den Hautwiderstand durch Aufrauhen zu verringern,

wie dies von Eichler (1937) gefordert wurde (6). An den drei Reizstellen des n. ulnaris in unserem Versuch wurde durchschnittlich je fünfmal gereizt. Zur Stimulation wurden handelsübliche bipolare Oberflächenelektroden mit Filzringen verwendet, die an den oben beschriebenen Stellen mit der Hand aufgesetzt und fixiert wurden. Da die Kathode nicht gekennzeichnet war, wurde darauf geachtet, daß die Elektroden stets in der gleichen Weise aufgesetzt wurden. Die Markierung erfolgte so, als ob der Stromimpuls von der Mitte zwischen beiden Elektroden käme. Die Erdungselektrode wurde mit Wasser angefeuchtet und um die Mitte des rechten Unterarmes gelegt.

Zur Impulsgebung und Aufzeichnung diente ein handelsüblicher DISA-Einkanalmyograph. Er lieferte Rechteckimpulse von 1 msec Breite und einer Folgefrequenz von 1/sec (1 Hz). Die Stromstärke des Stimulus wurde von Schwellenstärke bis zu supramaximaler Reizstärke gesteigert. Mit einer Endspannung von 50 V konnte stets eine supramaximale Reizung erreicht werden.

Die Ableitung erfolgte aus einem zugehörigen Handmuskel - in unserem Falle dem m. interosseus dorsalis I - durch eine handelsübliche ko-axiale Nadelelektrode. Nach sorgfältiger Desinfektion der Ableitstelle wurde die sterile Nadel durch rasches Einstechen in die Mitte des Muskelbauches in die Nähe der Endplatte versenkt. Um die Einstichaktivität beurteilen zu können, wurde das Gerät auf "open" gestellt.

Gemessen wurde direkt vom Schirm des Oszilloskops und zwar die Zeit vom Beginn des Reizartefakts bis zur frühesten Abweichung des Strahls aufgrund der Muskelantwort. Da der Kipp durch den Reiz getriggert war, konnte die Messung vom Beginn der Spur gemacht werden.

Eine Markierungseinrichtung, die eine über dem Bildschirm verschiebbare Marke erzeugt, wurde zur Bestimmung der Latenz zwischen Reizimpuls und Muskelantwort benutzt, wobei auf einer Skala die Zeit in Millisekunden sofort abgelesen werden konnte. Zur genauen Bestimmung der Überleitungszeit wurde die Zeitachse mit möglichst großer Kippgeschwindigkeit eingestellt, aber nur so schnell, daß das Muskelaktionspotential am rechten Bildrand noch klar zu erkennen war. Bei distaler Reizung (Handwurzel) entsprachen dann 1 cm auf dem Schirm bzw. der Ableseskala 0,5 msec, das entspricht einer Ablesegenauigkeit von 0,05 msec, während bei den beiden proximalen Reizungen (Epicondyluskanal) die Spreizung der x-Achse um die Hälfte verringert wurde, so daß nun 1 cm auf dem Schirm 1 msec entsprach und nur noch eine Ablesegenauigkeit von 0,1 msec gewährleistet war.
Es wurde auch besonders darauf geachtet, daß die Initialphase des evozierten Muskelaktionspotentials für alle drei Reizantworten ähnlich verlief. Um ein möglichst klar abgesetztes "take off" des evozierten Muskelaktionspotentials von der Grundlinie zu bekommen, wurde die Verstärkung so gewählt, daß die Kippablenkung dem oberen bzw. unteren Bildrand möglichst nahe kam. Dies wurde mit einer Verstärkung von 10 x 100 erreicht. Gereizt wurde immer am rechten Arm sowie in der gleichen Reihenfolge; zuerst an der Handwurzel, dann proximal des Epicondyluskanals und zuletzt distal des Epicondyluskanals. Die verschiedenen Distanzen wurden oberflächlich mit einem Maßband gemessen, wobei die Entfernung vom Reizpunkt an der Handwurzel zu den Ableitelektroden im Schnitt bei 10,8 cm (9 - 13 cm) lag, und

die Distanz vom Reizpunkt an der Handwurzel zum proximalen Reizort am Epicondyluskanal bzw. distalen Reizort am Epicondyluskanal durchschnittlich 28,2 cm (25 - 31,5 cm) bzw. 23,3 cm (20 - 28,5 cm) betrug.

Die Untersuchungen wurden in einem Zeitraum von fünf Monaten vorgenommen, wobei zwischen Erst- und Kontrolluntersuchung ein Zeitabstand von einer Woche bis zwei Monaten lag. Die Zimmertemperatur des Untersuchungsraumes betrug konstant 24°C. Die Tageszeit bei allen Untersuchungen war nachmittags zwischen 15^{00} und 17^{00} Uhr. Die Versuchspersonen lagen auf einer Untersuchungsliege und wurden aufgefordert, sich möglichst zu entspannen.

III. Ergebnisse

Da wir die Methoden und Prinzipien früherer Untersucher verwendeten, ist es von Interesse, die gewonnenen Ergebnisse so auszuwerten, daß sie einen Vergleich mit diesen Arbeiten zulassen.
Dazu wurde für jeden Untersuchungstag aus beiden Werten ein Mittelwert für die Leitgeschwindigkeit gebildet und dieser in das Diagramm 1 eingetragen. Die Werte schwanken zwischen Minimum 42,0 m/sec und Maximum 70,8 m/sec. Das Diagramm zeigt eine eingipflige nach rechts verschobene Verteilungskurve, mit Häufung der Werte zwischen 60 und 62,5 m/sec mit 22,5% der Werte, also keine klassische Gaus'sche Verteilungskurve.
Als Durchschnittsgeschwindigkeit ließ sich aus diesen Werten eine Nervenleitgeschwindigkeit von 56,0 m/sec und einer Standardabweichung von $\pm$ 5,24 m/sec errechnen.
Betrachtet man die Mittelwerte des 1. und 2. Tages gesondert, so stellt man nur eine geringfügige Änderung der Durchschnittsgeschwindigkeiten fest und zwar am 1. Tag: $\bar{v}$ = 55,4 m/sec und einer SD von $\pm$ 4,94 m/sec und am 2. Tag: $\bar{v}$ = 56,7 m/sec und einer SD von $\pm$ 5,57 m/sec. Beide Werte differieren lediglich um 1,3 m/sec und unterscheiden sich vom Gesamtdurchschnitt um $\pm$ 0,65 m/sec, wobei die Standardabweichung am 2. Tag um $\pm$ 0,63 m/sec größer ist als am 1. Tag.
Beim Vergleich der Mittelwerte des 1. Tages mit denen des 2. Tages fällt auf, daß sich am 1. Tag der Gipfel zwar an gleicher Stelle wie bei der Gesamtverteilung steht, mit 25% der Werte (Diagramm 2), aber im Bereich 57,5 - 60 m/sec sich nur 10% der Werte befinden. Dies wird in der Gesamtverteilung durch den Gipfel am 2. Tag an dieser Stelle mit 30% der Werte kompensiert. Im Be-

reich des Gipfels der Gesamtverteilung entfallen am 2. Tag nur 20% der Werte (Diagramm 3).
Da in der Praxis meist nur eine einzige Bestimmung gemacht wird, besteht eine größere Gefahr Extremwerte zu erhalten, als bei dem oben beschriebenen Verfahren der Mittelwertbildung. In unserem Versuch liegt die Durchschnittsgeschwindigkeit sämtlicher Einzelmessungen logischerweise ebenso bei 56,0 m/sec, jedoch unterscheidet sich die Standardabweichung mit $\pm$ 5,46 m/sec um $\pm$ 0,22 m/sec von dem oberen Wert. Sie liegt damit aber nur unwesentlich höher, ferner ist die durchschnittliche Streubreite bei den Einzelwerten nicht signifikant größer als bei den gemittelten Werten.
Im Tagesvergleich ergibt sich ein ähnliches Bild: Bei fast gleicher Durchschnittsgeschwindigkeit im Vergleich zu den gemittelten Werten vom 1. Tag - 55,3 m/sec - und 2. Tag - 56,7 m/sec - unterscheidet sich die Standardabweichung am 1. Tag mit $\pm$ 5,16 m/sec um $\pm$ 0,22 m/sec und die am 2. Tag mit 5,73 m/sec um $\pm$ 0,16 m/sec, d.h. die bereits bei den Mittelwerten aufgefallene größere Streubreite am 2. Tag vergrößert sich bei der Betrachtung der Einzelwerte nicht so sehr wie die am 1. Tag. Daraus resultiert eine mit $\pm$ 0,57 m/sec größere Standardabweichung am 2. Tag, die aber im Vergleich zu den Mittelwerten um $\pm$ 0,06 m/sec zurückgegangen ist.
Als Extremwerte fallen am 1. Tag als Minimum 40,7 m/sec und Maximum 63,8 m/sec auf, während am 2.Tag das Intervall mit Minimum 42,9 m/sec und Maximum 72,1 m/sec um 6,1 m/sec größer ausfiel. Bei der Geschwindigkeitsverteilung sämtlicher Einzelwerte (Diagramm 4) fällt wieder die nach rechts verschobene eingipfelige Ver-

teilungskurve mit dem Gipfel zwischen den Werten 60,0 und 62,5 m/sec mit 20% auf. Demgegenüber besitzen die gesondert aufgetragenen Tageskurven (Diagramm 5 und 6) jeweils eine zweigipfelige Verteilungskurve mit Häufungen zwischen 50,0 und 52,5 m/sec mit 22,5% und zwischen 57,5 und 60,0 m/sec mit 20% am 1. Tag und am 2. Tag bei 52,5 - 55,0 m/sec mit 20% und bei 60,0 - 62,5 m/sec mit 27,5%. Ins Auge springt auch, daß bei allen 3 Diagrammen im Intervall zwischen 50,0 m/sec und 62,5 m/sec mit jeweils über 82% der Hauptteil der Werte liegt und dieses Intervall fast der jeweiligen Standardabweichung entspricht.
Unterschiede der Nervenleitgeschwindigkeit zwischen 1. und 2. Tag bei derselben Versuchsperson:
Zuerst untersuchen wir die Geschwindigkeitsdifferenzen der jeweiligen Mittelwerte beider Tage. Beim Vergleich beider Tage sieht man am Diagramm 7, daß die Mehrzahl der Werte eng beieinanderliegt und zwar differieren 50% zwischen 0 und 4 m/sec und weitere 30% zwischen 4 und 8 m/sec. Als Extremwerte wurden zwei mit 15,2 m/sec bzw. 18,0 m/sec gefunden, alle anderen lagen unter 10,5 m/sec; das bedeutet, daß mit Ausnahme der beiden Extremwerte bei keiner Versuchsperson eine Diskrepanz der an beiden Tagen ermittelten Nervenleitgeschwindigkeiten festgestellt wurde, bei der der höhere Wert sich mehr als 18,6% vom kleineren unterschied (Diagramm 7).
Da bei den Routineuntersuchungen, wie bereits erwähnt, nur jeweils eine einzige Untersuchung vorgenommen wird, ist es interessant, die Einzelwerte direkt zu vergleichen, und zwar so, daß die Differenzen der jeweiligen Untersuchung vom 1. Tag gegenüber dem 2. Tag zusammen in ein Diagramm eingetragen wird. Es fällt dabei auf, daß im Intervall 0 - 4 m/sec nur

42,5% der Werte liegen (bei den Mittelwerten 50%), aber genau wie bei den Mittelwerten 80% im Bereich 0 - 8 m/sec. Es ist auch verständlich, daß es bei den Einzelwerten eine größere Zahl von Extremwerten (10%) zwischen 14,9 und 18,4 gibt (Diagramm 8). Die Verteilungskurve im Diagramm 7 weist im Bereich 2 - 4 m/sec ein Maximum auf, wobei eine kontinuierliche Abnahme der Häufigkeit mit zunehmender Geschwindigkeitsdifferenz festzustellen ist. Dagegen haben wir in der Verteilung der Differenzen der Einzelwerte (Diagramm 8) eine zweigipfelige Verteilungskurve mit Maxima von jeweils 25% in den Bereichen 0 - 2 m/sec und 4 - 6 m/sec. In einem Fall beträgt die Diskrepanz zwischen beiden Tagen sogar 18,4 m/sec, d.h. bei der Erstuntersuchung von VP 16 liegt der Wert der Nervenleitgeschwindigkeit um 33% niedriger als am 2. Tag. Trotz dieses hohen Extremwertes konnte die Nullhypothese bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse sowohl für die Mittelwerte als auch für die Einzelwerte beibehalten werden, d.h. die zugehörigen Werte an beiden Tagen unterscheiden sich nicht signifikant.

Bei jeder Versuchsperson wurde die Nervenleitgeschwindigkeit im Ganzen viermal gemessen. Um nun die bei ein und derselben Person auftretende Geschwindigkeitsunterschiede an zwei Tagen zu verdeutlichen, wurde jeweils der maximalste und der minimalste Differenzbetrag herausgegriffen und deren Verteilungen im Diagramm 11 und 12 eingetragen. Die minimalste Differenzverteilung besitzt zwei Maxima (Diagramm 11) im Bereich von 0 - 2 m/sec mit 55% und zwischen 4 und 6 m/sec mit 25%, wobei die Einzelwerte zwischen 0,5 und 14,9 m/sec differieren und eine durchschnittliche Differenz von

3,66 m/sec sich ergibt. Bei der maximalsten Differenzverteilung (Diagramm 12) finden wir Werte von 2,6 - 21,1 m/sec, mit einem Durchschnittswert von 8,07 m/sec und einem Maximum im Bereich von 4 - 6 m/sec mit 35%. Jenseits der 14 m/sec Marke finden wir zwei Extremwerte und somit doppelt soviel wie im Diagramm 11.

Dazu ist noch interessant zu wissen, wie die Differenzen der Einzelwerte am gleichen Tag ausfallen. An beiden Tagen finden wir eine Verteilungskurve mit einem Maximum im Bereich von 1,5 - 2,0 m/sec, am 1. Tag (Diagramm 9) mit 25%, am 2. Tag (Diagramm 10) mit 15%. Am 1. Tag lagen die Werte im Schnitt bei 2,76 m/sec und im Bereich von 0 - 6,4 m/sec, während am 2. Tag der Durchschnittswert mit 2,63 m/sec um 0,13 m/sec kleiner war, dafür aber der Bereich der Differenzen mit 0 - 6,7 m/sec etwas größer. Der Durchschnittswert der Differenzen der Einzelwerte am gleichen Tag mit 2,69 m/sec fällt somit nur um 0,97 m/sec geringer aus als der Durchschnittswert der minimalsten Differenzen der Einzelwerte an beiden Tagen und um 2,9 m/sec geringer als der Durchschnittswert der Differenzen der Mittelwerte an beiden Tagen.

Im Diagramm 13 möchte man noch darauf hinweisen, daß in 9 Fällen die Mittelwerte des 1. Versuchstages bis zu 15,2 m/sec größer waren als die des 2. Tages und entsprechend in 11 Versuchen die Mittelwerte des 2. Tages die Werte des 1. Tages mit Differenzen bis zu 18 m/sec übertrafen.

IV. Diskussion

In der Einleitung wurde auf mehrere Arbeiten verwiesen, deren Ergebnisse in Tabelle 2 aufgeführt und Vergleichsgegenstand zu den eigenen Ergebnissen sind. Hinsichtlich unseres Durchschnittwertes der Nervenleitgeschwindigkeit des n. ulnaris mit 56,0 m/sec findet man eine große Übereinstimmung mit den Werten früherer Untersucher, die sich zwischen 52,3 und 59,9 m/sec bewegen. Ähnliches läßt sich über die Streubreite unserer Werte mit 40,7 - 72,1 m/sec sagen, die sich am besten mit der von Corbat 1961 gefundenen Variationsbreite von 37 - 70 m/sec vergleichen läßt. Zwar war bei einigen Untersuchern die Streubreite geringer als 25 m/sec, dies dürfte aber zum Teil an dem kleinen Kollektiv von nur 5 (McQuillen, Gorin) und 8 (Magladery, McDougal) Versuchspersonen liegen. Höhere Werte wie 72,1 m/sec wurden bei Redford (1958) mit 80 m/sec und Mulder und Mitarbeiter (1961) mit 75 m/sec gefunden, unsere untere Grenze von 40,7 m/sec wurde nur von Corbat (1961) mit 37 m/sec unterboten.

Bei der Gegenüberstellung des 1. Tages zum 2. Tag im Diagramm 7 stellt man zum Teil erhebliche Unterschiede fest, die im Diagramm 8 noch stärker zu Tage treten und die Schwierigkeiten verdeutlichen, die in Grenzfällen bei der Abgrenzung zum Pathologischen auftreten können. Tagesunterschiede fielen auch bei der Standardabweichung auf. Bei Betrachtung der Einzelergebnisse streuen diese am 1. Tag um 10% weniger als am 2. Tag. Ebenso war die Variationsbreite am 1. Tag bedeutend kleiner als am 2. Tag. Die Erklärung könnte darin liegen, daß die Versuchspersonen am 2. Tag besser entspannt waren als bei der Erstuntersuchung.

Dafür spricht auch, daß die gefundenen Differenzen der Einzelwerte am gleichen Tag (Diagramm 9 und 10) für die Erstuntersuchung im Bereich von 0 - 4,0 m/sec mit 70% um 10% niedriger liegen als die Differenzen am 2. Tag mit 80% im gleichen Bereich.
Hinsichtlich der klinischen Routineuntersuchung wäre es also sinnvoll, in Anbetracht der obigen Annahme, wenn man mit einer besseren Entspannung eine Kontrolluntersuchung überflüssig machen könnte, indem man den Patienten die Angst oder auch nur die Unsicherheit vor der Untersuchung nimmt.
Es wird die stufenweise und maximale Innervation jener Muskel oder Muskelgruppen, die für die betreffende Untersuchung in Frage kommen, - noch ohne Nadel - geprobt (16).
Mehrere Arbeiten früherer Untersucher beschäftigen sich mit dem Problem der Streubreite ihrer Ergebnisse und fanden Parameter, die sie als Ursache für diese Streuung anschuldigen konnten. Inwieweit diese Parameter zur Erklärung der Variationsbreite der oben beschriebenen Ergebnisse (40,7 - 72,1 m/sec) herangezogen werden können, soll im folgenden erläutert werden.
Eine Abhängigkeit der Leitgeschwindigkeit vom Alter der Versuchspersonen konnten 1952 Wagman und Lesse, 1961 Mulder und Mitarbeiter und ebenfalls 1961 Corbat aufzeigen (4, 20, 28). In der Altersgruppe um 10 Jahre liegt sie am höchsten und nimmt danach leicht ab. Erst jenseits des 42. Lebensjahres ist eine signifikante Abnahme zu erwarten. Dies trifft in unserem Versuch für drei Personen zu, die aber nur minimale Abweichungen vom Durchschnittswert aufwiesen, so daß diesem Parameter für unsere Unter-

suchung keine Bedeutung beigemessen werden kann.

Die Temperatur des den Nerven umgebenden Gewebes spielt nach Wagman und Lesse (1952) eine wesentliche Rolle für die Leitfähigkeit (28). Sie errechneten eine Verzögerung der Leitgeschwindigkeit um 7 m/sec bei Erniedrigung der Temperatur um 3°C. Henriksen (1956) und Corbat konnten diese Ergebnisse bestätigen (4, 10). Bei der vorliegenden Untersuchungsreihe wurden absichtlich Unterschiede, die auf unkontrollierte Temperaturen zurückzuführen sind, hingenommen, um die Ergebnisse direkt auf Patienten anwenden zu können, wie man sie bei der elektromyographischen Routineuntersuchung zu seken bekommt. In Anbetracht der konstanten Raumtemperatur dürften die temperaturbedingten Schwankungen sogar wesentlich niedriger liegen.
1961 wies Corbat in seiner Arbeit an drei Versuchspersonen eine Variabilität der Leitgeschwindigkeiten bei der gleichen Person im Verlaufe eines Tages nach, mit Schwankungen zwischen 53 und 70 m/sec (4). Ein allgemein gültiges Tagesprofil der Nervenleitgeschwindigkeit konnte er aber mit nur drei Versuchspersonen nicht nachweisen. Dieser Parameter dürfte für unsere Untersuchung sowieso keine Rolle spielen, da alle Messungen zwischen 15°° und 17°° Uhr vorgenommen wurden.
Bei unserer Untersuchungsreihe wurden ko-axiale Nadelelektroden für die Ableitung verwendet, da ihnen im klinischen Gebrauch der Vorzug gegeben wird. Zum einen können so in einem Arbeitsgang sowohl konventionelle Elektromyographie wie auch die Elektroneurographie durchgeführt werden. Zum anderen ist bei der Nadelableitung der Beginn des evozierten Potentials schärfer gezeichnet und die Gefahr einer Fehlbeurteilung

durch Einstreuen von Potentialen benachbarter Muskeln bei Ableitung aus atrophischen Muskeln geringer. Diese Vorteile werden auch von Verfechtern der Oberflächenelektroden anerkannt. Hopf (1963) und Kaeser (1970) vertreten jedoch in ihren Arbeiten die Ansicht, daß im Gegensatz zu den Hautelektroden, die unabhängig von ihrer Lage zum Muskel immer die frühzeitigsten Potentialveränderungen erfassen, bei Benutzung von Nadelelektroden die Latenzzeit in Abhängigkeit vom Einstichort wechseln kann (12, 13, 15). Da man insbesondere mit den koaxialen Nadeln nur die Potentiale des unmittelbar umliegenden Muskelgewebes abgreift, würde man nicht so sicher stets die früheste Muskelantwort erhalten. Vielmehr könnte die relativ langsame Fortleitung des Muskelspikes über die Muskelfaser (4 - 6 m/sec) eine Verzögerung der Nervenleitung vortäuschen, wenn die Nadel z.B. entfernt von der Endplattenzone des Muskels liegt; eine Entfernung von 1 cm zwischen Nadelelektrode und Endplatte bedingt eine Verzögerung der Latenz um 2 m/sec. Dieser Einwand ist sicherlich gerechtfertigt, will man die Nervenleitgeschwindigkeit nur aus der distalen Latenzzeit beurteilen, da sich diese aus Laufzeit, terminaler Leitzeit, neuromuskulärer Übertragungszeit und der Übertragung im Muskel selbst zusammensetzt. Bei der üblichen Bestimmung der Leitgeschwindigkeit werden aber proximale und distale Latenz von einander abgezogen; diese Differenz enthält dann nur noch die reine Laufzeit zwischen beiden Reizpunkten und damit kann der Ableitungsfehler eliminiert werden.

Ein anderes Argument wird von Hudson und Dow (1963), McQuillen und Gorin (1969) ins Feld geführt, wenn sie die Ableitung mit der Oberflächenelektrode als exakter bezeichnen, weil das Summenaktionspotential des gesamten Muskels und damit vor allem die am schnellsten leitenden Nervenfasern erfaßt werden, während mit ko-axialen Nadelelektroden nur die Potentiale des umgebenden Muskelgewebes abgegriffen werden und somit nicht stets die früheste Muskelantwort erhalten wird (14, 18).
Thomas, Sears und Gilliatt (1959) beschreiben die Möglichkeit, daß bei einer Aktivierung einer Großzahl von Muskelfasern eine Synchronisation mit den schnellsten Nervenfasern erfolgt, die jedoch fehlt, wenn nur eine geringe Anzahl erregt ist (26). Sie berufen sich dabei auch auf eine frühere Arbeit von Merton (1954) (19). Für diese Annahme spricht auch die Tatsache, daß oft erst bei supramaximaler Reizung der früheste Ausschlag gemessen werden kann. Zudem ergaben vergleichende Untersuchungen von Poloni und Sala (1962), Visser (1964) und Neundörfer, Adler (1972), daß beide Methoden keine nennenswerten Unterschiede in ihren Ergebnissen erkennen lassen (21, 22, 29).

Als weitere Fehlerquelle wären Ungenauigkeiten, die bei einer Routineuntersuchung unvermeidlich sind, zu diskutieren.
Bei Fixierung der oberflächlichen Reizelektrode mit der Hand sind geringfügige laterale Verschiebungen, aber auch entlang der Längsachse häufig, um den günstigsten Reizpunkt zu erreichen. Nach Wegnahme der Reizelektrode gleitet die Haut jedoch wieder in ihre Ausgangslage zurück und die nachfolgende Markierung und Messung erfolgt nicht genau über dem eigentlichen

Reizpunkt. Carpendale (1959) und Henriksen (1956) kamen in ihrer Arbeit zu dem Ergebnis, daß leichte Seitwärtsbewegungen der Elektroden bei perkutaner Reizung die Meßwerte nicht nennenswert verändern (2, 10). Dagegen wirken sich Längsverschiebungen auf die Berechnung der Nervenleitgeschwindigkeit aus, da hier die oberflächliche Messung der Laufstrecke beeinflußt wird. Die größten Abweichungen vom tatsächlichen Reizpunkt dürften aber nie mehr als 0,5 cm betragen und, setzt man eine Verschiebung bei distaler und proximaler Reizung in entgegengesetzter Richtung voraus, wirkt sich als Fehler maximal mit einer Leitgeschwindigkeitsänderung von $\pm$ 2,7 m/sec aus. Der Fehler dürfte aber noch geringer sein, da man bei den meisten Versuchspersonen bei distaler Reizung die Elektrode an der Handwurzel anstehen lassen kann und damit eine Fixierung der Längsachse erreicht. Die Markierung wurde, wie in "Material und Methode" beschrieben, so vorgenommen, daß die dritte zwischen Anode und Kathode als hypothetischer Ausgangspunkt der Reizung angenommen wurde und ohne genaue Abmessung auf der Haut markiert wurde. Eine genauere Markierung wäre möglich gewesen, wenn bei der von uns verwendeten Reizelektrode die Kathode gekennzeichnet gewesen wäre und damit der Eindruck der Kathode auf der Haut als Markierungspunkt gedient hätte. Die Ungenauigkeit bei der Markierung dürfte aber selbst bei distaler und proximaler Addierung nicht mehr als 0,5 cm betragen und der Fehler bei der Berechnung der Nervenleitgeschwindigkeit daher höchstens $\pm$ 1,3 m/sec sein. Der Fehler ist deshalb nicht größer, da stets darauf geachtet wurde, daß die bipolaren Reizelektroden immer in der gleichen Weise aufgesetzt wurden und damit die Markierung

des hypothetischen Ansatzpunktes der Kathode proximal wie distal in der gleichen Richtung vom tatsächlichen Ansatzpunkt abwich. Bedeutung gewänne dieser Fehler nur bei einer Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit aus der distalen Latenzzeit unter Zuhilfenahme der Leitstrecke vom distalen Reizpunkt (= Kathodenansatzpunkt) bis zur Ableitelektrode.
Die oberflächliche Messung der Nervenlänge könnte zu einem weiteren Fehler führen, wenn die tatsächliche Länge des darunter liegenden Nervs in einem größeren Ausmaß von der Oberflächenentfernung zwischen beiden Punkten abweicht. Carpendale (1956) verglich die tatsächliche Länge des n. medianus und des n. ulnaris, die er bei den Sektionen des Unterarmes an vier Leichen fand, mit den Ergebnissen bei oberflächlicher Messung und kam zu dem Schluß, daß die Fehler, die sich auf diese Weise einschlichen, von geringer Bedeutung waren (2). Trotzdem läßt sich diese oberflächliche Bestimmung bei Routineuntersuchungen nicht ganz exakt durchführen und in Einzelfällen dürfte der Meßfehler bis zu 1 cm betragen, was zu einer Leitgeschwindigkeitsänderung von 2,7 m/sec führt.

Schließlich dürfte die Bildschirmablesung zu weiteren Fehlern geführt haben, da die früheste Abweichung des Kathodenstrahls nicht immer exakt eingestellt werden konnte.
Bei distaler Reizung wurde die Zeitachse so gewählt, daß 1 cm auf der Ableseskala 0,5 m/sec entsprach. Bei einer Einstellgenauigkeit von 2 mm treten Meßfehler von $\pm$ 0,1 m/sec auf. Da bei proximaler Reizung die Kippgeschwindigkeit verdoppelt wurde, entsprechen nun 1 cm 1 m/sec und der Meßfehler beträgt hier $\pm$ 0,2 m/sec. Bei Addition beider Fehler ergibt

sich bei einer durchschnittlichen Laufzeit von 4,2 m/sec eine maximale Abweichung von 6,8% bzw. $\pm$ 3,8 m/sec von der tatsächlichen Nervenleitgeschwindigkeit. Diesem Fehler kommt damit von allen in diesem Abschnitt diskutierten die größte Bedeutung zu. Aus allen diesen relativen Fehlern läßt sich nun nach der Formel:
1. relativer Fehler a, 2. relativer Fehler b, 3. relativer Fehler c usw. der Gesamtfehler $a^2 + b^2 + c^2$ usw. errechnen; also $2,7^2 + 1,3^2 + 2,7^2 + 3,8^2 = 5,54$. Dies bedeutet bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 56,0 m/sec eine Streuung von 5,54 m/sec um den Durchschnittswert.

V. Zusammenfassung

Die motorische Nervenleitgeschwindigkeit des n. ulnaris wurde an 20 klinisch gesunden Versuchspersonen unter den Bedingungen der klinischen Routinemyographie einer erneuten Prüfung unterzogen. Dabei ergab sich:

1. Die Durchschnittsgeschwindigkeit von 56,0 m/sec lag innerhalb der Ergebnisse früherer Untersucher.

2. Die Streubreite mit Werten zwischen 40,7 - 72,1 m/sec lag etwa in der gleichen Größenordnung wie die vergleichbarer früherer Untersuchungen.

3. Die Durchschnittsgeschwindigkeit für den rechten n. ulnaris am 1. Tag war praktisch identisch mit dem für den 2. Tag errechneten Wert.

4. In der überwiegenden Mehrzahl der untersuchten Fälle unterschieden sich die an zwei Tagen gefundenen Meßwerte um weniger als 10% voneinander.

5. Eine signifikante Änderung der Einzel- wie der Mittelwerte konnte trotz der Beachtung des Nichtbekanntseins der Werte der Erstuntersuchung nicht gefunden werden.

VI. Literatur

(1) BUDDENBROCK, W. von: Vergleichende Physiologie II. Nervenphysiologie. Birkhäuser, Basel 1953.

(2) CARPENDALE, F.T.F.: Conduction time in the terminal portion of the motor fibres of the ulnar, median and peroneal nerves in the healthy subjects and in patients with neuropathy. M.S. Thesis (Phys. Med.) University of Minnesota 1956.

(3) CERRA, D., E.W. JOHNSON: Motor nerve conduction velocity in premature infants. Arch. phys. med. 43, 160 (1962).

(4) CORBAT, F.: Über Messungen der Leitgeschwindigkeit an peripheren Nerven und deren Verwertung in der Klinik. Dtsch. Z. Nervenheilk. 182, 652 (1961).

(5) DOBBELSTEIN, H., A. STRUPPLER: Die Nervenleitgeschwindigkeit als diagnostisches Kriterium bei peripheren neurologischen Störungen. Fortschr. Neurol. Psychiatr. 31, 616 (1963).

(6) EICHLER, W.: Über die Ableitung der Aktionspotentiale vom menschlichen Nerven in situ. Z. Biol. 98, 182 (1937).

(7) HARVEY, A.M., R.L. MASLAND: A method for the study of neuro-muscular transmission in human subjects. Bull. Johns Hopkins Hosp. 68, 81 (1941).

(8) HELMHOLTZ, H. von, N. BAXT: Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen.
M.-Ber.Kgl.-preuß. Akad. Wissensch. 234 (1867).

(9) HELMHOLTZ, H. von: Neue Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen.
M.-Ber.Kgl.-preuß. Akad. Wissensch. 184 (1870).

(10) HENRIKSEN, J.D.: Conduction velocity of motor nerves in normal subjects and patients with neuro-muscular discorders.
M.S. Thesis (Phys. Med.) Univ. of Minnesota 1956.

(11) HODES, R., M.F. LARRABEE, W. GERMAN: The human electromyogram in response to the nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons.
Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago) 60, 340 (1948).

(12) HOPF, H.C.: Untersuchungen über die Unterschiede in der Leitgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Menschen.
Dtsch. Z. Nervenheilk. 183, 579 (1962).

(13) HOPF, H.C.: Das Elektromyogramm bei Nervenreizung (Elektroneurogramm, ENG).
Fortschr. Neurol. Psychiat. 31, 585 (1963).

(14) HUDSON, C.H., R.S. DOW: Motor nerve conduction velocity determination. A neurodiagnostic aid.
Neurologic (Minneap.) 13, 982 (1963).

(15) KAESER, H.E.: Nerve conduction velocity measurements. In: Vinken, P.J., G.W. Bruyn: Handbook of Clinical Neurology 7, 116-196. North-Holland Publ. Comp. Amsterdam 1970.

(16) LÁHODA, F., A. ROSS, W. ISSEL: EMG-Fibel. Ein Leitfaden für die praktische Elektromyographie und Elektroneurographie. Barth, Frankfurt 1973.

(17) MAGLADERY, J.W., D.B. McDOUGAL jr.: Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. Identification of certain reflexes in the EMG and the conduction velocity of peripheral nerve fibres. Bull. Johns Hopkins Hospital 86, 265 (1950).

(18) McQUILLEN, M.P., F.J. GORIN: Serial ulnar nerve conduction velocity measurements in normal subjects. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 32, 144 (1969).

(19) MERTON, P.A.: Interaction between muscle fibres in a twich. J. Physiol. (London) 121, 311 (1954).

(20) MULDER, D.W., E.H. LAMBERT, J.A. BASTRON, R.G. SPRAGUE: The neuropathies associated with diabetes mellitus. Neurology (Minneap.) 11, 275 (1961).

(21) NEUNDÖRFER, B., C. ADLER: Vergleichende elektroneurographische Untersuchungen mit Oberflächen- und Nadelelektroden. Z. EEG-EMG 3, 153 (1972).

(22) POLONI, A.E., E. SALA: The conduction velocity of the ulnar and median nerves stimulated through a twinneedle electrode.
Electroencephal. Clin. Neurophysiol. 22, 17-19 (1962).

(23) REDFORD, J.D.: Conduction time in the motor fibres which innervate proximal muscles in the extremities in normal persons and in patients with neuromuscular diseases.
M.S. Thesis (Phys. Med.) Univ. of Minnesota 1958.

(24) SIMPSON, J.A.: Electrical signs in the diagnosis of carpal tunnel and related syndroms.
J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 19, 275 (1956).

(25) THOMAS, P.K.: Motor nerve conduction in the carpal tunnel syndrome.
Neurology (Minneap.) 12, 1045 (1960).

(26) THOMAS, P.K., T.A. SEARS, R.W. GILLIATT: The range of conduction velocity in the normal motor nerve fibres to the small muscles of the hand and foot.
J. Neurolog. Neurosurg. Psychiat. 22, 175 (1959).

(27) WAGMAN, J.H.: Reflex time during growth considered in relation to internodal length and conduction velocity.
J. Neurophysiol. 17, 66 (1954).

(28) WAGMAN, J.H., H. LESSE: Maximum conduction velocities of motor fibres of the ulnar nerve in human subjects of various ages and sizes.
J. Neurophysiol. 15, 235 (1952).

(29) VISSER, S.L.: A comparative study of various methods of determining the conduction velocity in peripheral motor nerves.
Psychiat. Neurol. Neurochir. 67, 477 (1964).

VII. Anhang

Tabellen und Diagramme

Tabelle 1

1. Tag

V_p	A Jahre	G	d_H cm	d_{Ep} cm	d_{Ed} cm	t_H msec	t_{Ep} msec	t_{Ed} msec	L_{Ep} msec	L_{Ed} msec	v_1 m/sec	v_2 m/sec	$\bar{v}$ m/sec
1 M.B.	20	w	9,5	26	23	3,0	7,6	7,0	4,6	4,0	56,5	57,5	57,0
2 H.S.	40	m	13	28	25	3,1	8,5	8,2	5,4	5,1	51,9	49,0	50,5
3 M.G.	24	m	11	31,5	28,5	4,1	11,4	11,1	7,3	7,0	43,2	40,7	42,0
4 C.B.	55	w	10	25	22	3,0	7,4	7,0	4,4	4,0	56,8	55,0	55,9
5 J.B.	60	m	11	28	24	3,4	8,6	7,4	5,2	4,0	53,8	60,0	56,9
6 D.B.	24	w	10,5	26,5	23	2,9	7,9	7,1	5,0	4,2	53,0	54,8	53,9
7 M.H.	45	w	10,5	27	23	2,9	7,7	7,0	4,8	4,1	56,3	56,1	56,2
8 B.H.	17	m	11	30	25	3,2	8,1	7,5	4,9	4,3	61,2	58,1	59,7
9 R.N.	25	w	11,5	27	23	4,6	10,0	9,1	5,4	4,5	50,0	51,1	50,6
10 D.N.	25	m	11	31,5	26,5	3,4	9,3	8,2	5,9	4,8	53,4	55,2	54,3
11 H.W.	26	w	9,5	25,5	21	3,1	8,0	7,2	4,9	4,1	52,0	51,2	51,6
12 H.W.	28	m	12,5	30	25	3,6	8,5	7,8	4,9	4,2	61,2	59,5	60,4
13.U.H.	24	m	11	30	24,5	3,5	8,2	7,7	4,7	4,2	63,8	58,3	61,1
14 V.B.	22	w	10,5	27	21,5	3,9	8,4	7,6	4,5	3,7	60,0	58,1	59,1
15 M.P.	21	w	10	26,5	22	3,5	8,8	7,9	5,3	4,4	50,0	50,0	50,0
16 P.M.	19	m	12,5	30,5	25	3,6	9,2	8,5	5,6	4,9	54,5	51,0	52,8
17 A.W.	21	w	9	26,5	21	2,7	7,4	6,9	4,7	4,2	56,4	50,0	53,2
18 J.B.	30	m	10,5	30	24	3,8	8,6	7,9	4,8	4,1	62,5	58,5	60,5
19 H.G.	27	m	10,5	26	21	3,8	8,2	7,1	4,4	3,3	59,0	63,6	61,3
20 K.K.	24	m	11	28	22	3,9	8,4	7,7	4,5	3,8	62,2	57,9	60,1
Durchschnittswerte:	28,9		10,8	28,03	23,5						55,9	54,8	55,4

Variationsbreite: 40,7 m/sec - 72,1 m/sec

V_p = Versuchsperson
A = Alter
G = Geschlecht
d_H = Distanz zwischen Reizpunkt Handwurzel und Ableitelektrode
d_{Ep} = Distanz zwischen Reizpunkt Handwurzel und proximal gelegenen Reizpunkt vom Epicondyluskanal "
d_{Ed} = Distanz zwischen Reizpunkt Handwurzel und distal " " " "

Tabelle 1

2. Tag

$\bar{v}$ m/sec	v_2 m/sec	v_1 m/sec	L_{Ed} msec	L_{Ep} msec	t_{Ed} msec	t_{Ep} msec	t_H msec	d_{Ed} cm	d_{Ep} cm	d_H cm
61,4	60,8	61,9	3,7	4,2	7,3	7,8	3,6	22,5	26	10
60,9	60,0	61,7	4,0	4,7	7,7	8,4	3,7	24,0	29	10,5
49,1	47,3	50,8	5,5	6,3	10,2	11,0	4,7	26,0	32	12,5
53,6	53,9	53,2	3,8	4,7	6,7	7,6	2,9	20,5	25	10
53,5	54,3	52,6	4,6	5,7	8,1	9,2	3,5	25,0	50	12
50,6	51,2	50,0	4,3	5,4	8,2	9,3	3,9	22,0	27	10
59,0	60,8	57,1	3,7	4,9	7,4	8,6	3,7	22,5	38	10
61,4	62,8	60,0	3,9	5,0	7,6	8,7	3,7	24,5	30	11
58,4	56,3	60,4	4,0	4,8	8,0	8,8	4,0	22,5	29	11
55,9	57,4	54,3	4,7	5,8	8,3	9,4	3,6	27,0	31,5	11
58,0	56,9	59,1	3,6	4,4	7,2	8,0	3,6	20,5	26	9,5
59,3	58,3	60,2	4,2	4,9	7,9	8,6	3,7	24,5	29,5	11,5
60,0	60,0	60,0	4,0	5,0	7,9	8,9	3,9	24,0	30	12
49,8	46,5	53,1	4,3	4,8	8,2	8,7	3,9	20,0	25,5	10
54,7	55,1	54,2	3,9	4,8	7,1	8,0	3,2	21,5	26	9
70,8	69,4	72,1	3,6	4,3	8,0	8,7	4,4	25,0	31	11,5
58,0	57,9	58,1	3,8	4,3	7,6	8,1	3,8	22,0	25	10,5
45,3	42,9	47,6	5,6	6,3	9,6	10,3	4,0	24,0	30	10,5
58,0	59,5	56,5	3,7	4,6	7,5	8,4	3,8	22,0	26	11
57,1	53,7	60,4	4,1	4,8	7,8	8,5	3,7	22,0	29	11
56,7	56,3	57,2						23,1	28,28	10,7

Durchschnittswert aller Einzelmessungen: 56,0 m/sec

t_H = Latenzzeit bei d_H; t_{Ep} = Latenzzeit bei d_{Ep}; t_{Ed} = Latenzzeit bei d_{Ed}

$L_{Ep} = t_{Ep} - t_H$; $L_{Ed} = t_{Ed} - t_H$ (Impulslaufzeit)

$v_1 = \frac{d_{Ep}}{L_{Ep}}$ (Nervenleitgeschwindigkeit) (1. Versuch)

$v_2 = \frac{d_{Ed}}{L_{Ed}}$ (Nervenleitgeschwindigkeit) (2. Versuch)

$\bar{v}$ = NLG - Mittelwert aus v_1 und v_2

Tabelle 2

Leitgeschwindigkeiten im distalen Abschnitt des n. ulnaris bei früheren Untersuchungen

Untersucher	Jahr	NLG in m/sec	Variations-breite	Anzahl der VP
Hodes, Larrabee und German	1948	59		
Magladery, McDougal	1950	55	(45 -68)	8
Redford	1958	59	(47 -80)	17
Thomas, Sears, Gilliatt	1959	56,0	(49 -65,6) (SD ±4,7)	46
Mulder und Mitarbeiter	1961	59,9	(45 -75)	255
Corbat	1961	52,3	(37 -70)	50
Hopf	1962	-	(49 -65)	20
McQuillen, Gorin	1969	57,5	(45,5-63,6)	5
Neundörfer, Adler	1972	54,6	(SD ±6,036)	25

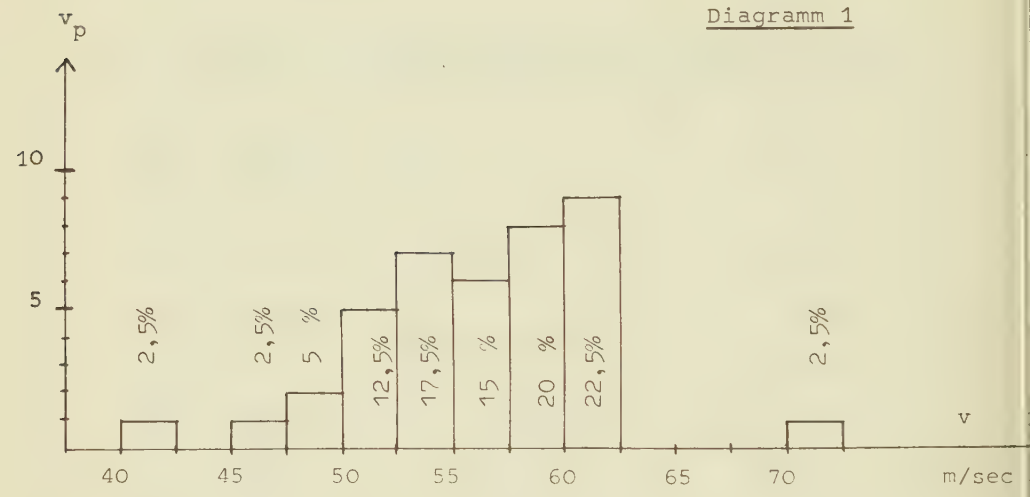
Tabelle 3

Maximale Leitgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter der Versuchspersonen (nach Wagman und Lesse 1952)

Alter in Jahren	Anzahl der VP	NLG in m/sec
3,5 - 10	8	61,5
10 - 20	8	57,1
20 - 30	35	58,4
30 - 40	7	57,4
40 - 50	2	56,8
50 - 60	3	49,1
60 - 70	10	51,3
70 - 82	10	51,3

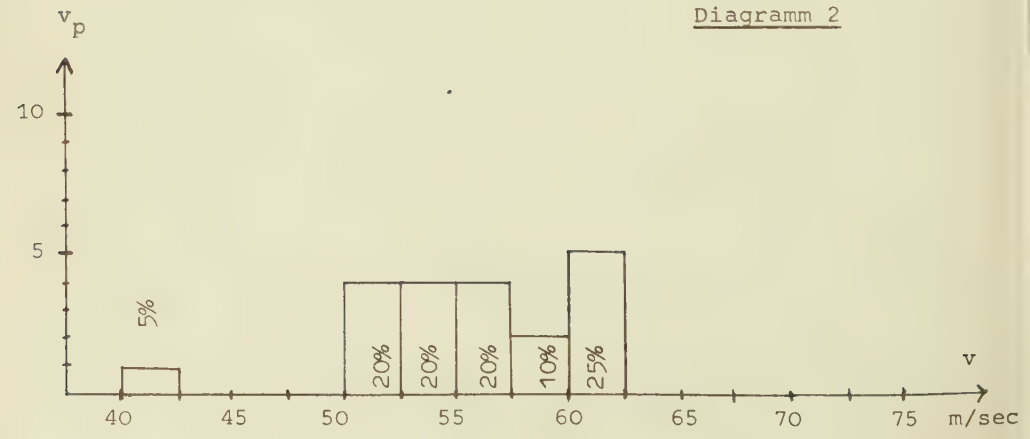
Häufigkeitsverteilung der Nervenleitgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsverteilung bei Auftragung sämtlicher Mittelwerte).

Diagramm 1



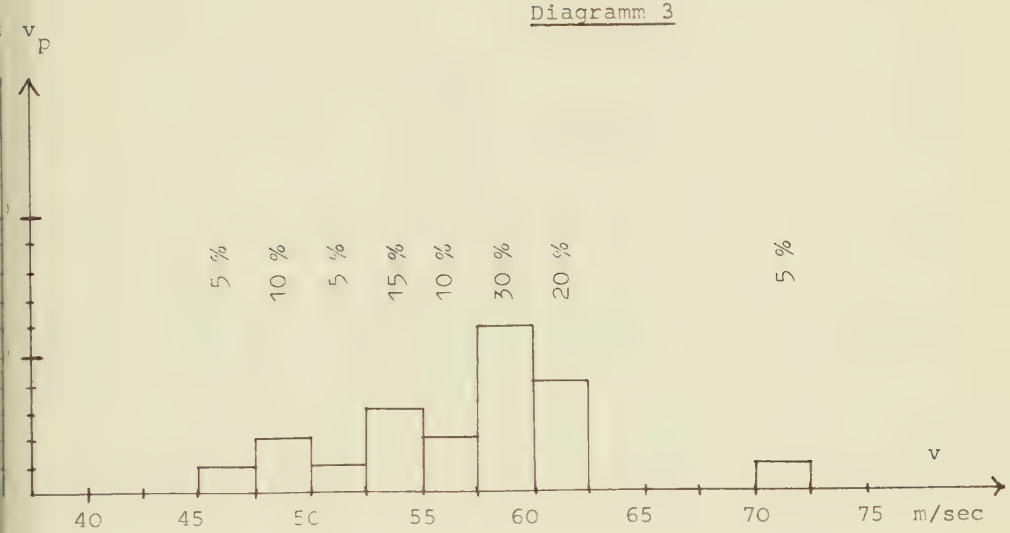
Mittelwerte 1. Tag

Diagramm 2



Mittelwerte 2. Tag

Diagramm 3



Häufigkeitsverteilung der Nervenleitgeschwindigkeit
(Geschwindigkeitsverteilung sämtlicher Einzelwerte)

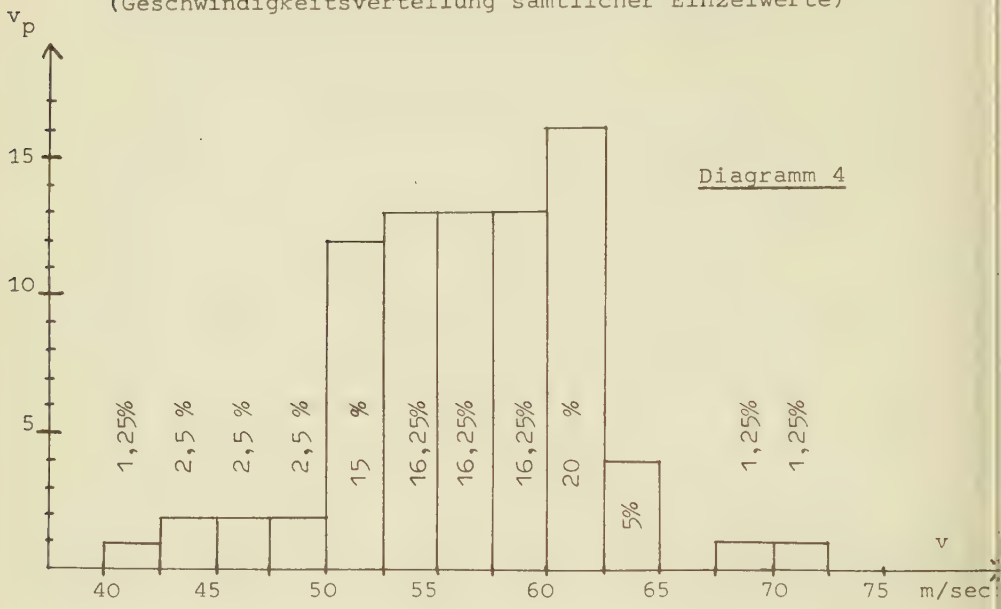
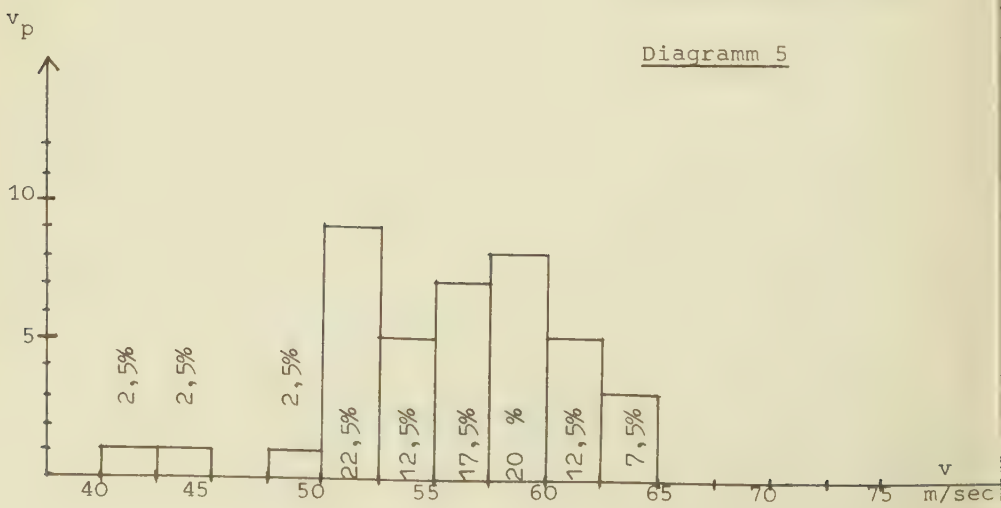


Diagramm 4

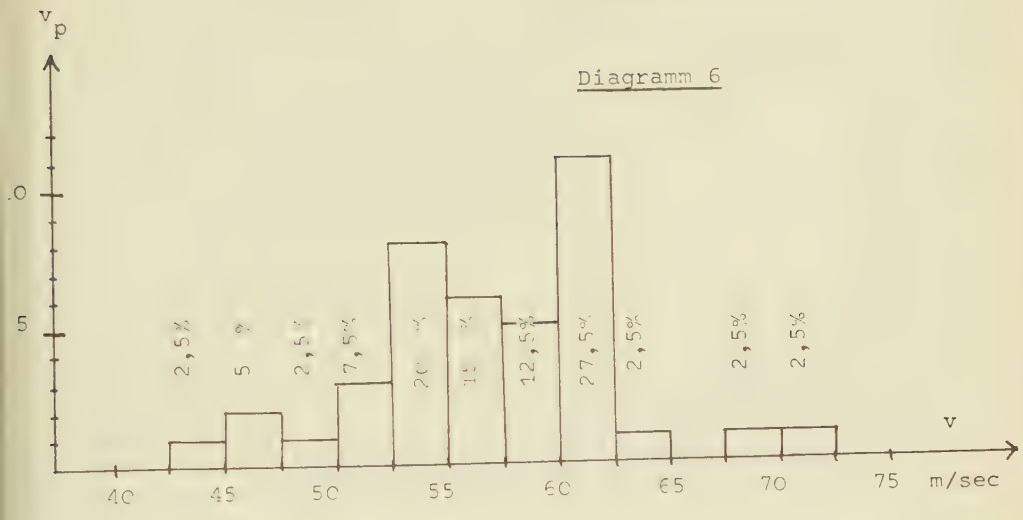
Einzelwerte: 1. Tag

Diagramm 5

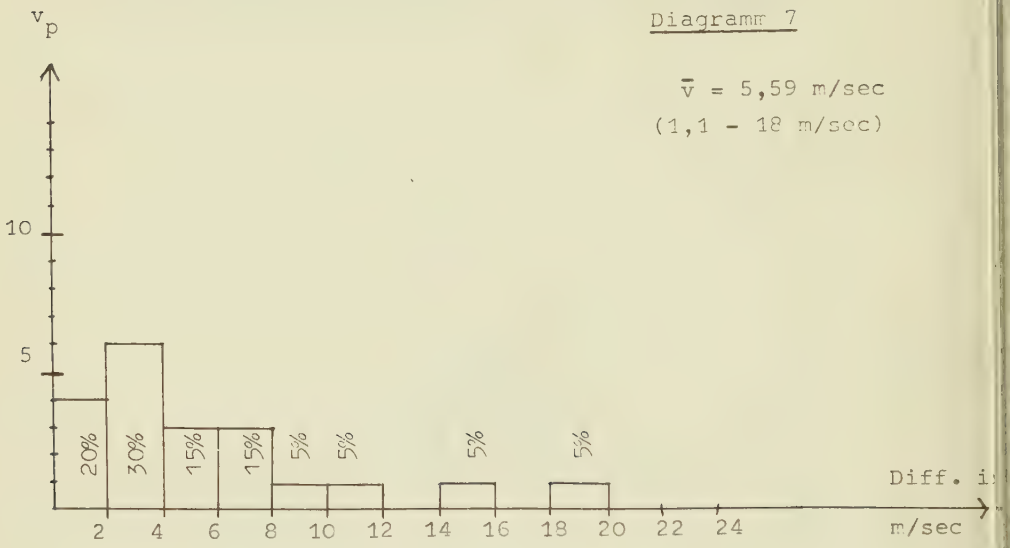


Einzelwerte: 2. Tag

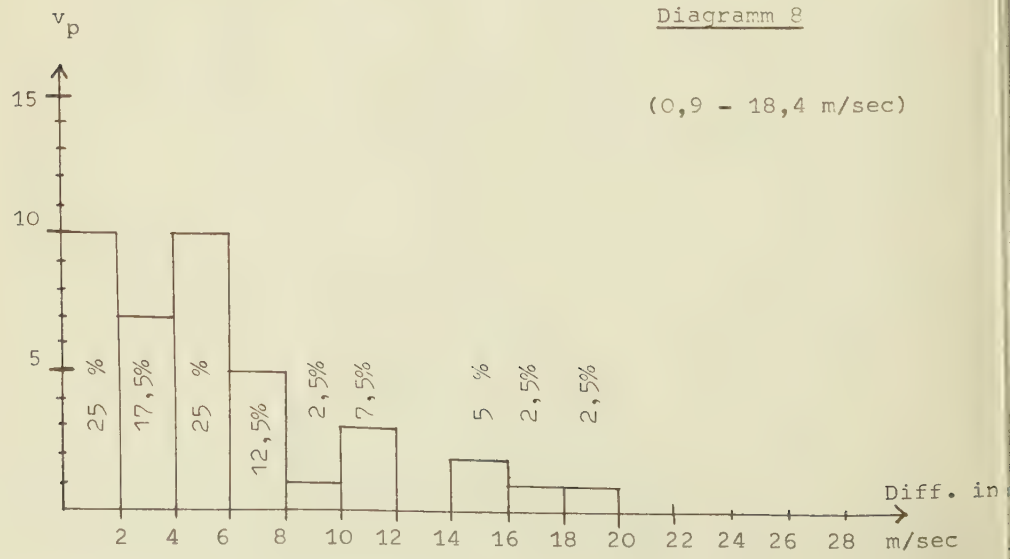
Diagramm 6



Differenzverteilung der Mittelwerte ($\bar{v}$) 1.Tag : 2. Tag



Differenzverteilung der Einzelwerte 1. Tag : 2. Tag

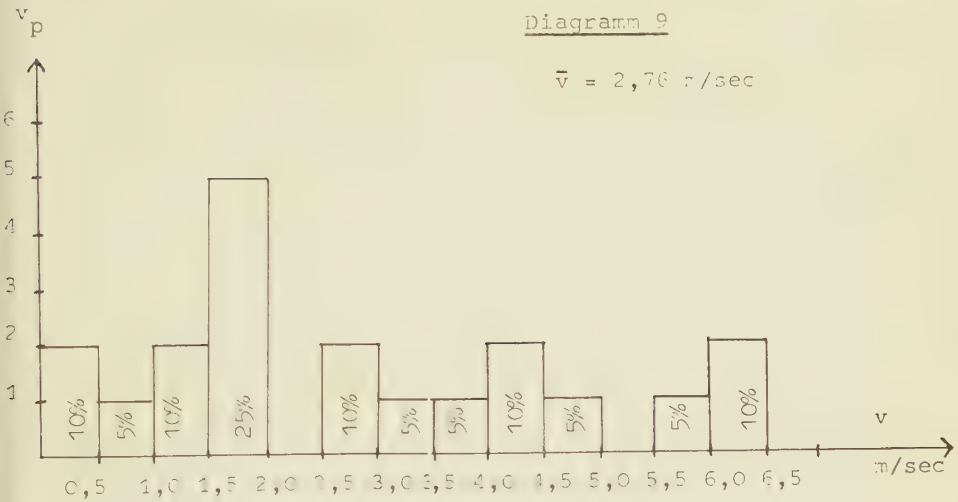


Verteilung der Differenzen der Einzelwerte am gleichen Tag

1. Tag $v_1 : v_2$

Diagramm 9

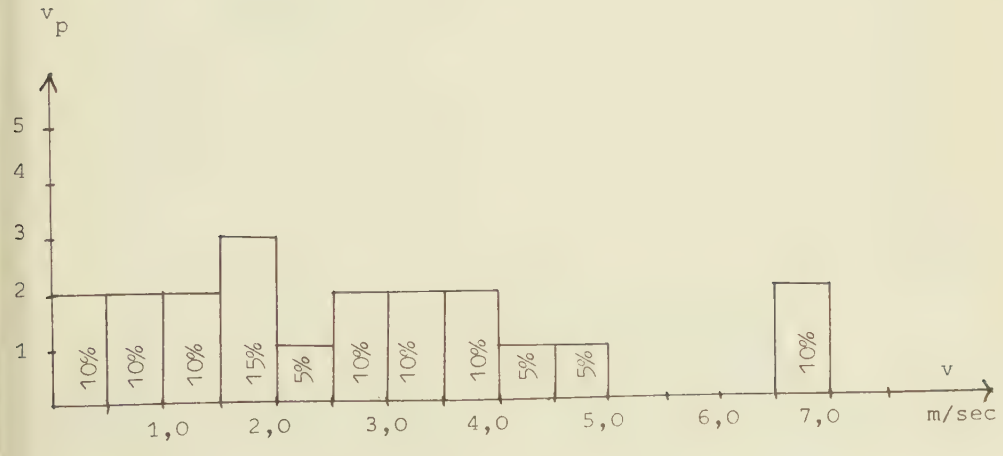
$\bar{v}$ = 2,76 m/sec



2. Tag $v_1 : v_2$

Diagramm 10

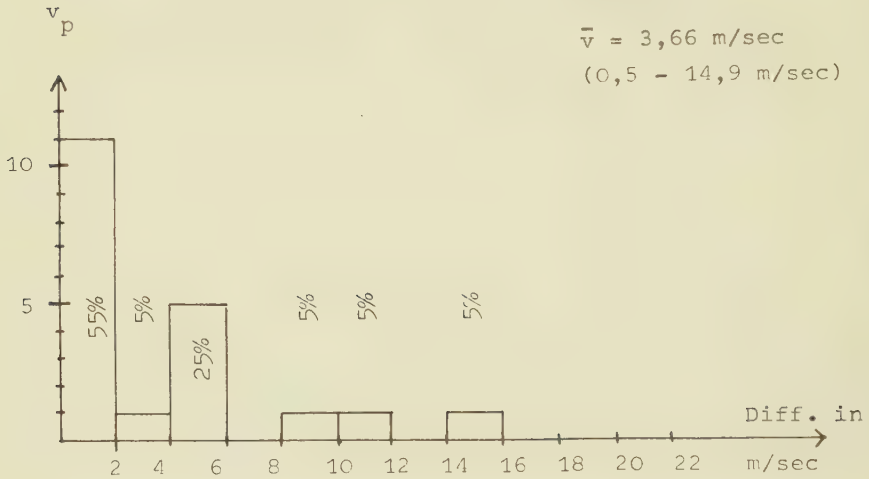
$\bar{v}$ = 2,63 m/sec



Minimale Differenzverteilung der Einzelwerte (v_1, v_2)
1. Tag : 2. Tag

Diagramm 11

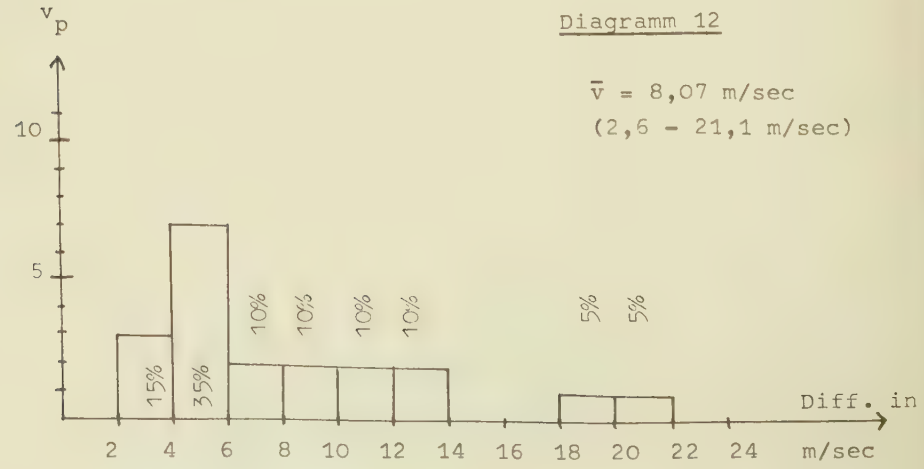
$\bar{v}$ = 3,66 m/sec
(0,5 - 14,9 m/sec)



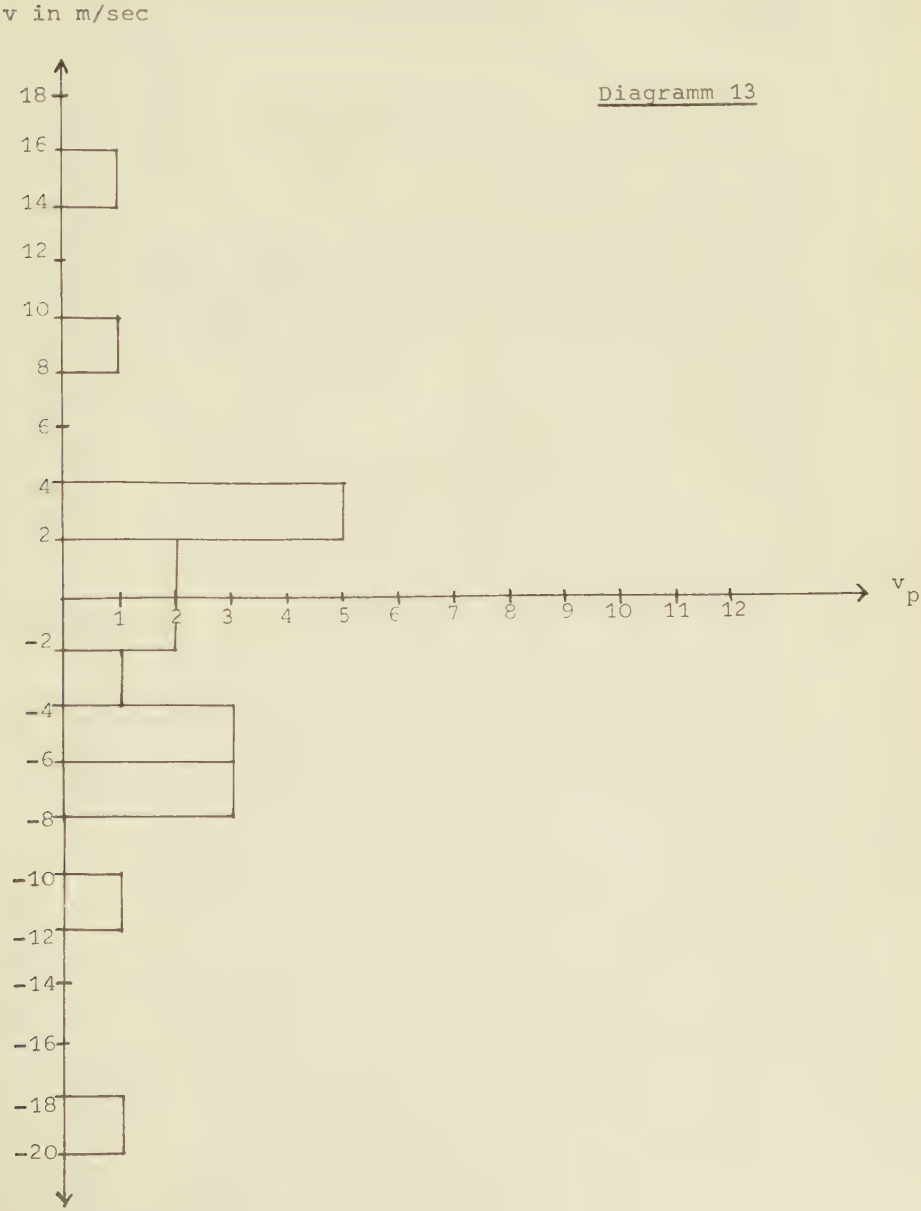
Maximale Differenzverteilung der Einzelwerte (v_1, v_2)
1. Tag : 2. Tag

Diagramm 12

$\bar{v}$ = 8,07 m/sec
(2,6 - 21,1 m/sec)



Verteilung der Tagesunterschiede der Mittelwerte der Nervenleitgeschwindigkeiten (1. Tag - 2. Tag)



Für die Überlassung des Themas und des Arbeitsplatzes darf ich mich bei Herrn Prof. Dr. A. Schrader bestens bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn OA. Dr. A. Ross für die freundliche und geduldige Beratung in technischen und fachlichen Fragen.

Meinen Geschwistern, Verwandten und allen meinen Freunden, die sich als Versuchspersonen zur Verfügung gestellt haben, sei an dieser Stelle ebenfalls herzlich gedankt.

Lebenslauf

Am 16. April 1953 wurde ich als Sohn des Architekten Josef A. Buschner und seiner Ehefrau Cordula Buschner, geb. Speer in München geboren.
Von September 1959 bis Juli 1964 besuchte ich die Volksschule an der Stuntzstraße in München.
Im September 1964 trat ich in das Math.-naturwissenschaftliche Luitpold-Gymnasium ein, das ich bis Oktober 1967 besuchte. Ende dieses Jahres wechselte ich, wegen Umzug meiner Eltern nach Unterhaching, an das Asam-Gymnasium, das ich im Juni 1973 nach bestandener Reifeprüfung verließ.
Von Juli 1973 bis September 1974 leistete ich meinen Grundwehrdienst bei der Luftwaffe als Sanitätssoldat ab. Nach der Entlassung von der Bundeswehr studierte ich im Wintersemester 1974/75 an der Universität in München Chemie und Physik. Danach bemühte ich mich um die Zulassung zum Medizinstudium, das ich im Sommersemester 1975 an der Ludwig Maximilians-Universität beginnen konnte.
Im Frühjahr 1977 legte ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im Frühjahr 1978 den 1. Teil der ärztlichen Prüfung ab.
Seit dem 25. August 1978 bin ich mit meiner Ehefrau Monika Buschner, geb. Heinrich verheiratet.